



Virtavesien vedenlaadun jatkuvatoiminen mittaaminen

Käytännön opas



OPAS 5 | 2015

VIRTAVESIEN VEDENLAADUN JATKUVATOIMINEN MITTAAMINEN
Käytännön opas

Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: Juvenes Print Suomen Yliopistopaino

Kansikuva: Asko Sydänoja

Painotalo: Juvenes Print Suomen Yliopistopaino

ISBN 978-952-314-364-7 (painettu)

ISBN 978-952-314-365-4 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2846 (painettu)

ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-365-4

www.doria.fi/ely-keskus



Sisältö

Johdanto	3
1. Mittauksen periaate ja anturin valinta	4
1.1 Taustaselvitykset	7
1.2 Mittauksen vaiheet ja laadunvarmennus	8
2. Mittausaseman paikan valinta	9
3. Mittausaseman huolto ja ylläpito	11
4. Mittausaineiston käsittely	13
5. Antureiden kalibrointi	14
5.1 Kalibroitavesinäytteet	14
5.2 Lineaarinen regressio mittauspaikkakohtaisessa kalibroinnissa	14
5.3 Uudelleenkalibroinnin tarve	16
6. Sijaismuuttujien muuntoyhtälöiden ja virtaama-aikasarjan määrittäminen	17
6.1 Muuntoyhtälöt	17
6.2 Virtaaman määrittäminen	18
7. Kustannukset	20
Liite 1. Jatkuvatoimisen vedenlaatumittarin tarjouspyynnössä huomioitavia asioita	21
Liite 2. Kentällä tehtävä huolto	22
Aiheeseen liittyvää kirjallisuutta	23



Johdanto

Automaattisilla mittausjärjestelmillä voidaan saada luotettavaa ja reaaliaikaista tietoa veden laadusta. Tässä oppaassa keskitytään optisiin antureihin. Jatkuvatoimisista mittareista on todettu olevan hyötyä etenkin tilanteissa, joissa veden laadussa on suurta ja nopeaakin vaihtelua ja johon perinteisellä vesinäytteenotolla ei ole mahdollista päästä kiinni. Jatkuvatoimisilla mittareilla saadaan parhaassa tapauksessa yhtenäinen mittaustulosten sarja näytteenottojen välille. Mittausten avulla voidaan joissain tapauksissa jopa huomata näytteenotossa tai laboratorioanalyysissä tapahtunut virhe. Tämä vaatii kuitenkin melko tiheää jatkuvatoimista mittausta tukevaa käsinäytteenottoa. Nykyaikaiset laitteistot koostuvat erilaisista

antureista, tietoa keräävistä antureista sekä tiedonsiirto- ja hallintalaitteista.

Mittareiden tuottaman aineiston avulla on tarkennettu jokien ravinnekuormituslaskelmia (Valkama ym. 2008, Vartiainen ym. 2014, Koskiaho ym. 2015a) sekä arvioitu vesiensuojelutoimenpiteiden tehokkuutta (Ekholm ym. 2012, Valkama & Salminen 2014, Koskiaho ym. 2015b). Jatkuvatoimisia vedenlaatumittareita on käytetty menestyksekkäästi myös virtavesien vedenlaadun seuraamisessa esimerkiksi kaivostoiminnan ja ruoppausten yhteydessä. Tietoa on saatu myös poikkeuksellisista päästöistä kuten jätevesi, teollisuus, rakentamisen vaikutukset, sekä osana yhteistarkkailua.

Mittari valitaan aina käyttötarkoituksen ja kohteen olosuhteiden mukaan.

Huolellinen taustatietojen kartoitus kannattaa tehdä ennen mittalaitteen hankintaa ja asennusta. Toimiva ketju laitteen oikeaoppisesta asennuksesta, huollosta ja kalibroinnista, laadukkaiden laboratorioanalyysien kautta ammattitaitoisen tutkijan tekemiin johdopäätöksiin takaa mittauksen onnistumisen, jolloin myös tulosten käyttöarvo on hyvä.

Tämän oppaan tavoitteena on auttaa uutta käyttäjää laitteen hankintaan, käyttöön ja aineiston käsittelyyn liittyvissä käytännön kysymyksissä. Liitteessä 1 on esitetty jatkuvatoimisen vedenlaatumittarin tarjouspyynnössä huomioitavia asioita ja liitteessä 2 ohjeet kentällä tehtävään huoltoon.



1. Mittauksen periaate ja anturin valinta

Kuva Sirkka Tattari

Nykyisillä optisilla mittalaitteilla voidaan luonnonvesissä mitata sameutta, nitraattityppeä, happea ja orgaanisen aineen pitoisuuksia. Fosforin mittaaminen ei ole vielä optisesti mahdollista, vaikka kehitystyö on ollut jo vuosia käynnissä. Sameuden mittaaminen optisilla antureilla perustuu joko valon läpäisyn heikkenemiseen tai valon sirontaan. Nitraattitypen pitoisuuden mittaaminen perustuu spektrometriaan. Antureiden väliset erot johtuvat mm. lamputyypeistä (esim. deuterium, xenon), kyvetin

pituudesta ja prosessialgoritmeista. Kirjoittajien kokemusten mukaan Suomessa yleisimmin käytetyt anturit ovat osoittautuneet rakenteensa ja tekniikkansa (erityisesti valonlähteet) puolesta kestäviksi ja luotettaviksi. Alla on esitetty yksityiskohtaisemmin joitakin Suomessa käytössä olevia laitteita. Laitetoimittajalistassa on mukana myös muita laitemerkkejä.

OBS-sameusanturit mittaavat sähkömagneettisen säteilyn takaisinsirontaa. Säteilyn lähteenä niissä on joko infrapuna- tai laserdiodi. OBS3 +

anturi lähettää veteen infrapunavaloa ja mittaa vedessä olevista hiukkasista takaisin sironnutta valoa ja muuntaa nämä tiedot sameusarvoiksi käyttäen nephelometristä sameusyksikköä (NTU). Yleisin linssienpuhdistusmekanismi OBS3+ laitteissa on harjapesuri. Nestehuuhtelua on kokeiltu myös etanoli-vesiseoksella. OBS anturin nollakohta voidaan kalibroida 0-liuoksella, mutta aina on tehtävä myös paikalliskalibrointi.

S::can-monitoimianturit (xenon valolähde, 256 fotodiodia) mittaavat

valon vaimenemista. Ne ovat monitoimilaitteita mm. sameuden, nitraattitypen ja orgaanisen aineen jatkuvaan mittaamiseen. Signaalin "sormenjälki" mahdollistaa useiden parametrien samanaikaisen mittaamisen sekä erittäin tarkan kompensoinnin mm. valolähteen muutoksille. Laite mittaa UV- ja näkyvän valon alueelta (200–750 nm).

YSI-sameusanturit ovat myös takaisinsirontaa mittaavia optisia antureita. Ne ovat erittäin stabiileja ja toimintavarmoja. Laitteistoon voi lisätä muitakin muuttujia kuten esimerkiksi lämpötilan ja sähkönjohtokyvyn. YSI-sameusanturin tarkkaa mittausaallonpituutta ei ole kerrottu, mutta mittaus tapahtuu aallonpituusvälillä 830–890 nm. YSIn sameusanturi on yksittäinen anturi, mikä vaatii liittämisen osaksi YSIn multiparametrisondia. Siinä on vakiona viiksipesuri.

Kaikkiin laitteisiin voidaan yleensä liittää muitakin mittalaitteita, esim. pinnankorkeuden mittari. Lisätietoa laitteiden toimintaperiaatteista löytyy parhaiten laitevalmistajien ulkomaisilta web-sivuilta.

Kaikki anturit ovat aina tehdaskalibroituja ja kalibrointiyhtälö on saatavilla laitetoimittajan kautta. Tehdaskalibroinnin lisäksi tarvitaan aina myös mittapaikkakohtainen, vesinäytteisiin perustuva kalibrointi.

Jos kyseessä on entuudestaan tuntematon mittalaite, voidaan ennen mittarin käyttöönottoa varmistaa yhteistyössä laboratorion kanssa laitteen

soveltuvuus tutkittaville muuttujille ja pitoisuustasoille. Tutkimukseen kuuluu esimerkiksi soveltuvan mittausalueen määrittely, mittauksen alarajan (=määritysrajan) laskeminen, mittauksen virhelähteiden arviointi ja mittausepävarmuuden laskenta. Validointitulos verrataan esimerkiksi SYKEN laatusuosituksiin, joita on annettu mm. määritysrajalle ja mittausepävarmuudelle (Näykki ym. 2013). Validointi voidaan toistaa tietyin väliajoin (esim. 3–5 vuoden välein). Lisäksi on suositeltavaa osoittaa mittarin/mittaajan pätevyys osallistumalla säännöllisesti kenttämittareille järjestettäviin pätevyyskokeisiin/vertailumittauksiin.

Jotkut laitetoimittajat ja laboratoriot tarjoavat kokonaisvaltaista palvelua sisältäen myös mittauksen laadun tarkastuksen. Lyhytaikaiseen tarpeeseen laitteen vuokraaminen ja palvelun osto on hyvä vaihtoehto. Pitkäaikaiseen mittaustarpeeseen kannattaa laite kuitenkin ostaa edellyttäen että käyttäjällä on osaamista muuttujan vaihtelusta, huolloista ja kalibroinnista. Ennen hankintaa kannattaa aina selvittää, saadaanko jatkuvatoimisilla mittareilla lisähyötyä verrattuna perinteiseen vesinäytteenottoon. Käyttökokemuksia kannattaa tiedustella myös henkilöiltä, joilla on pitkäaikaista kokemusta jatkuvatoimisista mittalaitteista.

Optisen laitteen hankinnassa on tärkeää varmistaa linssien puhdistusmekanismin toimivuus (kuva 1). Jos linssit ovat mittaushetkellä likaiset,

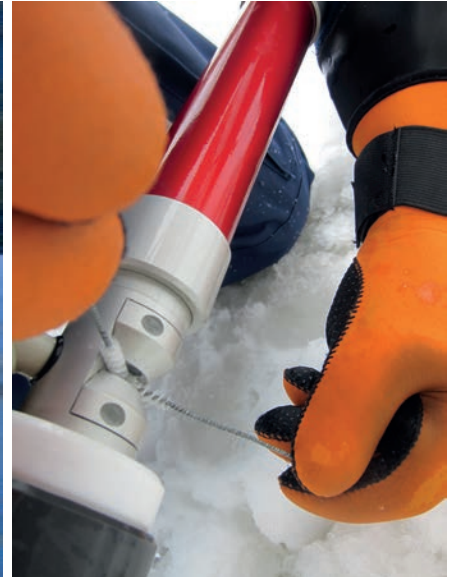
mittaustulokset ovat virheellisiä eikä niihin jälkikäteenkään tehty korjaus auta. Laitevalmistajilla on tarjota erilaisia puhdistusmekanismeja. Tyypillisiä ovat erilaiset harjat tai pyyhkimet sekä paineilmapuhdistus. Laitteen hinnan ei pitäisi olla ensisijainen kriteeri hankinnassa, vaan laitteen sopeutus ja toimintavarmuus erilaisissa olosuhteissa.

Suomalaisia laitetoimittajia (aakkosjärjestyksessä)

- AMTELE AB, www.amtele.fi, ruotsalainen yritys, toimipiste Suomessa Vantaalla.
- BK-Hydrometa: Raisio <http://www.bk-hydrometa.fi/pages/fi/tuotteet-ja-palvelut/veden-maeaerae-ja-laatu.php>
- EHP tekniikka, Oulu <http://www.ehp-tekniikka.fi/index.php?p=frontpage>
- Ekonia Oy, Helsinki, <http://www.ekonia.fi>
- GWM-Engineering Oy, Kuopio, www.gwm-engineering.fi
- Hyxo Oy, Kerava <http://www.hyxoy.fi/>
- Luode Consulting Oy, Espoo, http://www.luode.net/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=57

Ulkomaisten laitevalmistajien nettisivuja:

<http://www.hach.com/> Hach Lange Oy, useita myyntipisteitä Euroopassa, mm. Sköndal, Ruotsi, www.se.hach.com
<http://www.ott.com/products/water-quality-4/> OTT Hydromet, Saksa
www.ysi.com, YSI Incorporated, USA
www.s-can.at, scan Messtechnik Gmb, Itävalta
<http://www.trios.de/produkte/sensoren/> TriOS Mess- und Datentechnik GmbH, Saksa
<https://www.campbellsci.co.uk/> Campbell Scientific Ltd., Iso-Britannia
<http://www.go-sys.de/1/products/bluegate-data-service/> Go Systemelektronik, Saksa
www.turnerdesigns.com Turner Designs, Iso-Britannia
www.ponsel-web.com Ponsel, Ranska



Kuva 1. Laite vedestä noston jälkeen (vas.) ja perusteellisen puhdistuksen jälkeen (oik.). Huomaa paineilmapuhdistuksen toimivuus (vasen kuva): vaikka anturi on muuten erittäin likainen, ovat linssit ja niiden välinen hahlo puhtaat. Kuvat Sirkka Tattari

1.1 Taustaselvitykset

Mittauspaikan veden pitoisuustaso on aina selvitettävä ennen laitteen hankintaa, koska pitoisuustaso vaikuttaa hankittavan laitteen ominaisuuksiin. Pitoisuustason lisäksi kannattaa myös selvittää mitattavan suuren vaihteluväli. Ravinteille ei ole esitetty yksittäisiä määrittämiä koskevia laatuunormeja. Määrittämissä tulisi kuitenkin olla ravinteille enintään 10 % - 50 % kyseiseltä vesistöalueelta mitatusista alimista pitoisuustasosta, jotta tulosten

käyttökelpoisuus toteutuu pidemmällä aikavälillä (Näykki ym. 2013). Jos vesiensuojelun tavoitteena on pitoisuustason puolittaminen tai vieläkin rajumpi alentaminen, saattavat pitoisuudet mennä tavoitetta lähestyttäessä niin alas, että määritysrajojen tulee olla tiukat liiallisen epävarmuuden välttämiseksi. Ennen mittauksien toteutusta kannattaa myös laskea saatavilla olevasta havaintoaineistosta korrelaatiot esimerkiksi sameuden ja kiintoaineen, sameuden ja kokonaisfosforin

sekä nitraattityypen ja kokonaistypen välillä. Näin saadaan tietoa siitä, onko sameuden käyttö mahdollista esim. kokonaisfosforin arvioinnissa ko. mittauspaikassa.

1. Ota vesinäytteitä ja/tai selvitä pitoisuustaso OIVA tietokannasta <https://www.p2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp> tai metsäseuranta tietokannasta <http://www.metsla.fi/hanke/7467/index.htm>.
2. Jos uomasta ei löydy mittauksia, hyödynnä maankäytöltään samanlaisten lähialueella sijaitsevien mittauspisteiden havaintoja ja pitoisuuden vaihtelua erilaisissa hydrologisissa tilanteissa.
3. Selvitä pisteen yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö (GIS työtä).

1.2. Mittauksen vaiheet ja laadunvarmennus

Toimiva ketju laitteen asennuksesta, huollosta ja kalibroinnista, laadukkaiden laboratorioanalyysien kautta tutkijan tekemiin johtopäätöksiin takaa mittauksen onnistumisen. Kun kaikki ketjun vaiheet tehdään huolellisesti, havaintojen hyvä laatu on taattu. Havaintojen säännöllisen graafisen tarkastelun avulla kokenut tutkija huomaa helposti virhetilanteet, jolloin niihin voidaan välittömästi puuttua. Laadunvarmennusketju sisältää seuraavat vaiheet:

- Paikan valinta
- Mittauslaitteiston hankinta
- Laitteen asennus
- Mittarin huolto ja ylläpito
- Kalibrointi ja sijaismuuttajat
- Kalibroinnin päivitys



Kuva Sirkka Tattari

2. Mittausaseman paikan valinta

Mittauspaikka valitaan ensisijaisesti mittausten tarkoituksen mukaan eli missä kohtaa uomaa saadaan parhaiten käyttötarkoitusta vastaavaa tietoa. Sen jälkeen katsotaan tarkempi mittauspaiikka, jonka valintaan liittyvistä tärkeimmistä asioista on esitetty alla yhteenveto. Tarkempaa tietoa mittauspaikan valinnasta löytyy myös Arola ym. (2012) raportista.

- Anturi on asennettava riittävän kauas rannasta, jotta rantapenkereen aiheuttamat pyörteet eivät vaikuta tuloksiin (ks. myös kuva 6).
- Asennuskohdassa uoman pohjan on oltava mahdollisimman tasainen, jottei pyörteisyys tai esteet linssin mittauskentässä vaikuta tuloksiin.
- Asennuspaikan virtauksen on oltava mahdollisimman tasainen.
- Anturin läheisyydessä ei saa olla sivu-uomia tai ilmakuplia aiheuttavia kuohuvia virtapaikkoja.
- Varmista, että huoltaminen onnistuu helposti ja turvallisesti, vaikka vedenpinnan korkeus muuttuisi asennushetkestä.
- Anturi on asennettava oikealle syvyydelle siten, että se on riittävän

kaukana pohjasta. Huomioi myös vedenkorkeuden vaihtelut.

- Anturi tulee asentaa mittaussensorit alavirran suuntaan, jotta mittarin eteen mahdollisesti virtauksen mukana kulkeutuva materiaali ei jää häiritsemään mittausta.
- Anturin edessä heiluvat kasvit häiritsevät mittausta eli vältä kasvillisuusrantoja tai poista kasvillisuus anturin läheisyydestä.
- Ota paikan valinnassa huomioon myös mahdollinen ilkeä.
- Reaaliaikainen tiedonsiirto edellyttää, että mittauspaiikka on GSM-verkon alueella. Selvitä laitteen tiedonsiirtotapa ja siirrosta aiheutuvat kustannukset.

Ohessa olevassa kuvasarjassa on esitetty käytössä olevia asennusratkaisuja erilaisissa uomissa.

Esimerkkikuvia anturin asennustelineistä, GWM Engineering (a ja b) sekä EHP (c) ja Lapin AMK & Arctic Power (d). Kuvat Juha Lyytikäinen ja Sirkka Tattari



Alla esimerkkikuvia anturin asennuksesta a) mittakaivoon (Kuva Pia Högmänder), b) betonimuuriin (Kuva Elina Röman), c) vipuvarsimekanismin avulla (Kuva Marjo Tarvainen) sekä d-e) laituriin (Kuva Pyhäjärvi-instituutti).



a)



b)



c)



d)



e)

3. Mittausaseman huolto ja ylläpito

Jatkuvatoimiset vedenlaatumittarit tarvitsevat aina **huoltoa**, johon sisältyy erilaisia puhdistustoimenpiteitä sekä mittarin virransaannin varmistamista (paristot, akut, aurinkokenno, sähköliittymä). Huollon yhteydessä tarkistetaan mittarin kiinnitykset, puhdistetaan mittari sekä yleisesti että erityisesti anturit kunkin anturityypin mukaisesti. Mittarit tarvitsevat aina huoltoa, vaikka niissä olisikin automaattinen puhdistusmenetelmä. Yleisimmin käytössä on paineilmapuhdistusta sekä erilaisia mekaanisia harjoja ja pyyhkimiä. Huollon yhteydessä tarkistetaan myös puhdistusmenetelmän kunto ja toimivuus. Paineilmapuhdistuksen yhteydessä tämä tarkoittaa esimerkiksi paineilmapullon tai kompressorin tarkistusta. Mekaaniset välineet puhdistetaan ja tarvittaessa vaihdetaan. Laitteisiin liittyvien ohjelmien päivityksistä tulee myös huolehtia.

Huoltoväli riippuu mitattavasta kohteesta, mutta yleensä pienissä uomissa huollon tarve on suurempi kuin isoissa jokikohteissa. Avovesikaudella pienissä uomissa on varauduttava huoltotehtäviin lähes viikoittain myös

silloin, kun mittareissa on automaattisia puhdistusmekanismeja. Antureihin voi puhdistuksesta huolimatta kertyä biologista kasvustoa, virran mukana kulkevaa kasvillisuutta tai muuta ainesta häiritsemään mittausta. Jos optisen laitteen puhdistuksen jälkeen pitoisuustaso muuttuu, on huoltoväliä lyhennettävä. Huollon tarpeen ja vika-tilanteiden havaitseminen on huomattavasti helpompaa, kun käytössä on reaaliaikainen tiedonsiirto. Huollon tarve määräytyy lopulta aina paikkakohteisesti ja paikalta kertyneen mittauskokemuksen myötä.

Mittausasemalla käynnin yhteydessä on tärkeää tehdä huolelliset **muistiinpanot** tehdyistä toimenpiteistä, kellonajoista ja kaikista mitattaviin muuttujiin vaikuttavista tekijöistä, joita paikalla havaitaan. Tällaisia ovat esimerkiksi valuma-alueella tehtävät maa- ja metsätalouden toimenpiteet sekä itse uomassa tehtävät toimet, kuten ruoppaukset. Hyvät muistiinpanot helpottavat usein merkittävästi aineiston käsittelyä ja sen laadun arviointia myöhemmässä vaiheessa. On tärkeää myös aina varmistaa kaikkis-

sa tilanteissa tiedonkulku maastosta aineiston käsittelijälle, koska usein mittarin huoltaja on eri henkilö kuin aineiston käsittelijä.

Talvella mittareiden huoltotarve isoissa uomissa on yleensä vähäisempi. Jäätymisriskin vähentämiseksi asennetaan usein esimerkiksi styrox levyjä mittausavannon kanneksi. Levyn päälle voi vielä lapioida lunta eristeeksi. Mittarilta tulevat kaapelit on tärkeää muistaa suojata, jotta ne eivät jäädy jäähän kiinni. Suurimmat ongelmat esiintyvät optisilla mittalaitteilla siinä vaiheessa kun jäätyminen alkaa ja vedessä esiintyy jääsohjoja tai alijäähtynyttä vettä.

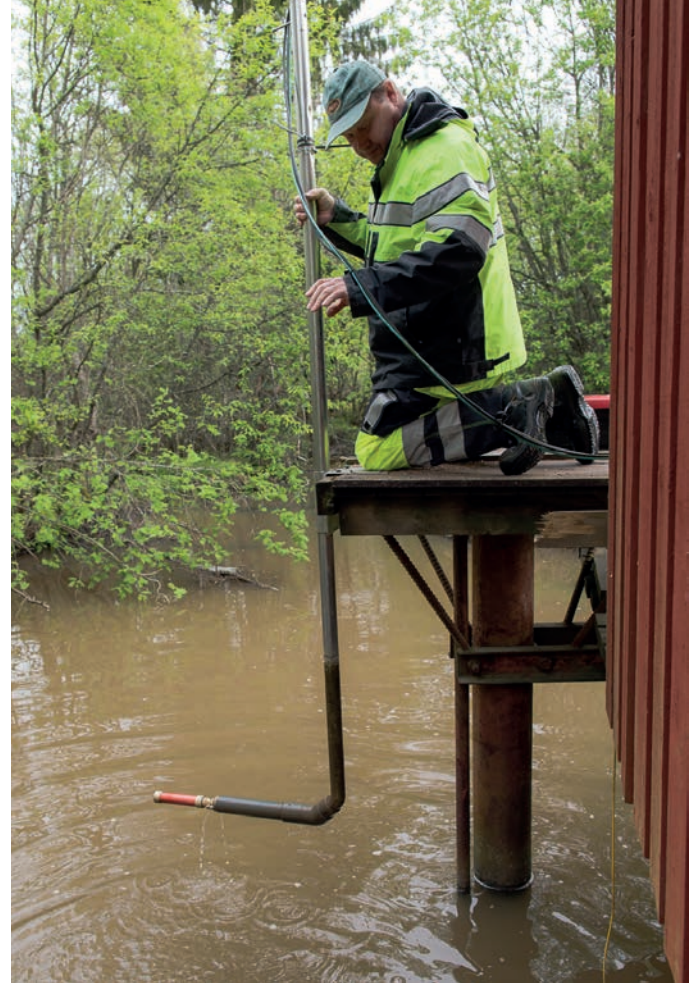
Esimerkkejä optiikan nollauksesta

Noin kerran vuodessa tulisi ainakin anturille tehdä ns. optiikan nollaus, jolla varmistetaan anturin toimivuus. Seuraavassa on esitetty lyhyesti tämän huoltotoimenpiteen vaiheet (s::can anturille).

1. Otetaan anturi ulos suojaputkesta ja irrotetaan paineilmaletku.
2. Otetaan muovikaulus pois ja pestään linsit vesijohtovedellä, s::can pesuaineella ja laimennetulla suolahapolla (HCl).
3. Asetetaan kyveti paikalleen linsin ympärille ja kaadetaan kyvetin aukosta ultrapuhdasta vettä yläreunaan saakka. Kaadetaan 2 ensimmäistä täyttöä pois, jätetään kolmas täyttö.

4. Liitetään tietokoneesta USB-kaapeli invertteriin ja invertteristä kaapeli dataloggeriin, laite ONLINE-moodiin.
5. Avataan tietokoneelta s:can ohjelma ana-pro.exe (mode-manual) ja tarkistetaan tulos käyrältä.
6. Jos tulos ei ole hyvä ultrapuhtaalla vedellä, huuhdellaan kyvettä lisää. Jos sekään ei auta, otetaan kyvetti pois ja puhdistetaan linssit uudestaan.
7. Tarkistetaan tulos ohjelman käyrältä.
8. Toistetaan vaiheita 6–7, kunnes käyrä on mahdollisimman lähellä nollaa (tavoite $\pm 0,5$).
9. Asetetaan laite LOGGER moodiin ennen sen laittamista taas mittaamaan.

YSIllä yllä mainittua menettelyä kutsutaan 1-pisteen kalibroinniksi (O NTU), joka yleensä tehdään muutaman keran vuodessa. 2-pisteen kalibrointia tehdään harvemmin, jolloin 0-tason lisäksi tarkastetaan myös toinen valittu NTU-arvo.



Kuva Asko Sydänoja

4. Mittausaineiston käsittely

Jatkuvatoiminen vedenlaatumittari asetetaan mittaamaan tietyin väliajoin. Tyypillisesti mittausfrekvenssi on 15, 30 tai 60 minuutin välein. Tallennettu mittaustulos edustaa usean yksittäisen mittauksen keskiarvoa. Perusperiaate voisi olla, että mitä pienempi uoma sitä lyhyempi mittausväli tai mitä suurempi osa valuma-alueesta päällystettyä, sitä lyhyempi väli. Mittaustulokset tallentuvat mittarin tai tiedonkerääjän muistiin, josta ne voidaan yksinkertaisimmillaan ladata suoraan tietokoneelle. Aineiston siirrossa tarvitaan yleensä kaapeliyhteys mittarin ja tietokoneen tai maastokäyttöön tarkoitetun päätelaitteen välille. Joissain uusimmissa laitteissa tiedonsiirto on mahdollista langattomasti Bluetooth-yhteyden avulla. Kullakin laitetoimittajalla on oma tietokoneohjelmansa, jonka avulla mittarin aineistoa voi katsoa ja käsitellä. Yleensä aineisto siirretään esimerkiksi Exceliin tarkempaa käsittelyä varten.

Aineiston reaaliaikainen seuraminen edellyttää tiedonsiirtoa, mikä yleensä toimii GSM-verkon kautta. Niissä käytetään useita erilaisia protokollia (SMS, GSM-data, GPRS).

Useimmat laitetoimittajat tarjoavat myös tiedonsiirtoratkaisuja ja oman mittarin toimittajalta se onkin yleensä helpointa tilata mittarin hankinnan yhteydessä. Tässä yhteydessä kannattaa selvittää, mihin tieto tallentuu, kuinka helposti ja missä muodossa se saadaan omaan käyttöön. Tiedonsiirron teknisessä toteutuksessa on toimittajien välillä eroja, mutta yleensä tiedonsiirron voi itse määrittää tapahtuvaksi tietyin väliajoin esimerkiksi kerran tai pari vuorokaudessa. Tiedonsiirrosta aiheutuu aina kustannuksia. Tieto voidaan lähettää joko laitetoimittajan omaan tietokantaan tai esimerkiksi tilaajan sähköpostiin. Tiedonsiirtopalvelu voi sisältää myös aineiston graafista esitystapaa, mutta yksinkertaisimmillaan vain aineiston siirron. Palvelun sisältö onkin hyvä ottaa huomioon jo mittarin hankinnan yhteydessä, jotta se vastaisi paremmin omia tarpeita.

Mittausaineistolle kannattaa tehdä oma tietokanta, missä säilytetään raakadataa ja laskettuja/korjattuja arvoja. Tietokantaan voi myös yhdistää mittausten metatiedon (huoltotoimenpiteet, tarkistusmittaukset ym.). Koko pake-

tista kannattaa tehdä ainakin kaksi kopiota, joita päivitetään jatkuvasti.

On tärkeää huomata, että osa laitetoimittajista tarjoaa vain tiedonsiirron, jolloin aineiston laadunvarmistus jää työn tilaajalle. Laadunvarmistus on asiantuntemusta vaativaa työtä, johon kannattaa panostaa mahdollisimman luotettavan aineiston saamiseksi. Laadunvarmistuksen yhteydessä poistetaan mm. virheelliset mittaustulokset ja tarkistetaan mittaustulosten mahdollinen liukuminen. Laadunvarmistus voi edellyttää myös korjauskeinojen laskemista. Laadunvarmistus sisältää myös aineistossa havaittavien muutosten taustojen ja syiden selvittelyä, mikä parantaa kerätyn tiedon hyödynnettävyyttä. Tässä joudutaan usein turvautumaan muuhun paikalta kerättyyn aineistoon.

5. Antureiden kalibrointi

Anturit ovat useimmiten tehdaskalibroituja, eli valmistaja on kalibroinut anturin nollakohdan ns. 0-liuoksella ja kalibroitisuuden kulmakertoimen eri sameudet ja pitoisuudet omaavilla standardiliuoksilla. Tämän lisäksi on kuitenkin aina tehtävä myös ns. mittauspaikkakohtainen kalibrointi, jolla varmistetaan anturin tuottaman aineiston luotettavuus juuri siinä paikassa, johon anturi on päätetty sijoittaa. Anturin mittaamiin arvoihin nimittäin vaikuttavat voimakkaasti kullekin mittauspaikalle ominaiset tekijät, kuten mm. veteen suspendoituneiden partikkeleiden koko ja muoto sekä pitkälti orgaanisen aineksen määrän säätelämä veden tummuus/väri.

5.1 Kalibroitivesinäytteet

Anturitulosten kalibrointia varten haettavien vesinäytteiden ottoon sekä näytteiden kuljetukseen ja säilytykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska kalibroitinäytteillä on iso rooli automaattimittauksen tuottamien tulosten luotettavuuden kannalta. Ohjeita näytteenoton sekä näytteiden

säilytyksen, kestäväönnin ja kuljetuksen suorittamiseksi oikealla tavalla kannattaa kysyä siitä laboratorioista, jonne kalibroitinäytteet toimitetaan analysoitaviksi. Kalibroitinäytteet tulisi ottaa mahdollisimman läheltä anturia, jotta sekä anturin että vesinäytteen tulos näytteenottohetkellä edustaisivat "samaa vettä". Vesinäyte kannattaa pyrkiä ottamaan myös mahdollisimman lähellä mittaushetkeä kuitenkaan häiritsemättä itse mittausta.

Näytteet tulisi toimittaa mahdollisimman pikaisesti akkreditoituun laboratorioon analysoitaviksi. Suomen standardisoimisliiton (SFS) suosituksen mukaan esim. sameus- ja kiintoaineanalyysit tulisi tehdä mieluiten 4 tunnin, tai viimeistään yhden vuorokauden sisällä näytteenotosta. Vesinäytteiden kuljettaminen, kestäväöinti ja säilyttäminen on ohjeistettu standardissa SFS-EN ISO 5667-3. Lisäksi SYKE on julkaissut suosituksia ympäristöhallinnon vedenlaaturekisteriin vietävälle tiedolle, ja kyseisessä julkaisussa käsitellään myös vesinäytteiden suositeltuja säilytysaikoja- ja tapoja (Näykki ym. 2013).

5.2 Lineaarinen regressio mittauspaikkakohtaisessa kalibroinnissa

Mittauspaikkakohtaista kalibrointia varten haettavien vertailunäytteiden lukumäärää tärkeämpää on se, että havainnot edustavat mahdollisimman laajaa vaihteluväliä. Toisin sanoen kalibroitinäytteitä tulisi ottaa mahdollisimman erisuuruisten virtaamien aikoina – ja siten erisuuruisilta sameusarvoilta – ja eri vuodenajoilta. Useimmissa tapauksissa noin kymmenellä kalibroitinäytteellä saavutetaan riittävän luotettavat tulokset. Huolellinen mittapaikkakohtainen kalibrointi on erittäin tärkeää automaattisen seuranta-aineiston luotettavuuden kannalta.

Kalibroinnin tavoitteena on selvittää, kuinka voimakkaasti laboratorionäytteiden ja anturimittauksen tulokset korreloivat keskenään. Yleensä riippuvuus on lineaarinen, jolloin aineistolle tehdään perinteinen regressioanalyysi. Kalibroinnissa vesinäyte ja anturitulosten välille muodostetaan kalibroitisuuden yhtälö ja lasketaan

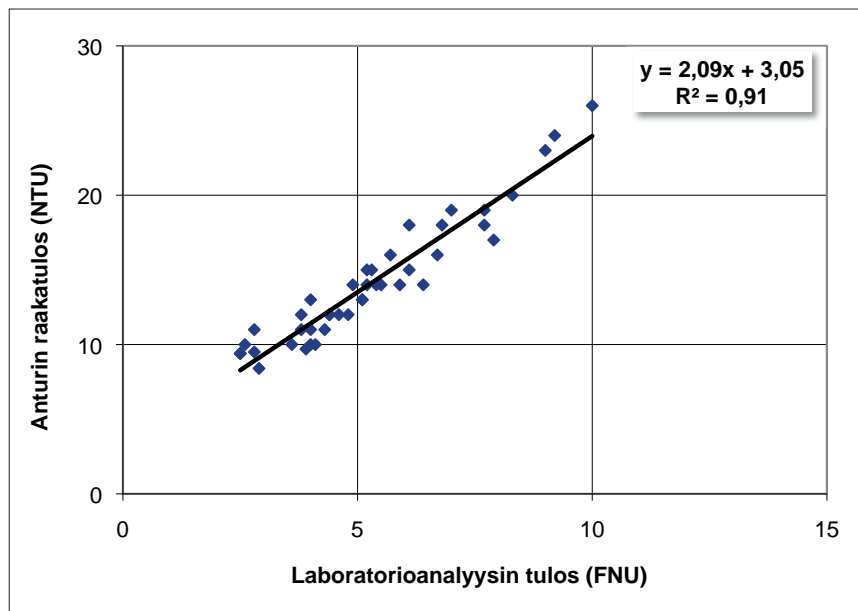
yhtälön selitysaste. Kalibrointisuora on muotoa $y = m \cdot x + c$, missä y on anturitulos, x on laboratoriotulos, m on kalibrointisuoran kulmakerroin ja c on kalibrointisuoran ja y -akselin leikkauspiste. Regressioanalyysissä on oletuksena, että mallissa oleva virhevaihtelu on peräisin y -arvoista ja että x -arvojen virheen ajatellaan olevan pientä tai merkityksetöntä. Siten yhtälön selittävinä, eli x -arvoina käytetään virheettömiksi oletettavia laboratoriotuloksia ja selitettävänä, eli y -arvoina virheille alttiimpaa anturidataa. Niinpä lopullinen kalibrointiyhtälö, jolla anturitulokset (raakadata) muunnetaan vastaamaan laboratorioarvoja, on muotoa $x = (y - c)/m$.

Seuraavassa esimerkissä aineiston käsittelyssä on käytetty MS-Exceliä. Siinä kalibrointidatasta on piirretty pistekaavio, jossa laboratoriotulokset ovat x -akselilla ja anturihavainnot y -akselilla ja johon on otettu mukaan regressioyhtälön ja selitysasteen (R^2) sisältävä trendiviivan otsikko (kuva 2). Kuvasta voidaan välittömästi havaita, onko datassa selvästi muista poikkeavia arvoja ja onko anturi- ja laboratoriotulosten välinen yhteys lineaarinen. Mikäli aineistossa on poikkeavia, kaukana regressiosuorasta olevia havaintoja, ne vaikuttavat kalibrointisuoran yhtälöön ja heikentävät selitysastetta. Jos poikkeavalle arvolle löytyy looginen selitys, esim. anturin

linssien väliin joutunut roska, se voidaan poistaa aineistosta. Tästä syystä anturien huolellinen puhdistaminen ja muu huolto sekä huoltotoimenpiteiden dokumentointi on tärkeää.

Kalibrointisuoran vakiotermin c tulisi periaatteessa olla nolla, ts. jos laboratorioanalyysin tulos on 0, pitäisi myös samanaikaisen anturituloksen olla 0. Tällöin kalibrointiyhtälö olisi muotoa $y = mx$. Käytännössä kuitenkin vakiotermi lähes aina poikkeaa nolasta, koska anturimittauksissa on satunnaista tai systemaattista vaihtelua. Siten regressiokäyrää ei tule pakottaa kulkemaan nollan kautta, vaan vakiotermi otetaan yhtälöön mukaan. Kun kalibrointiaineistoa kertyy paljon, vakiotermin tilastollinen merkitsevyys saattaa pienentyä, jolloin sen voi jättää pois.

Kalibrointiyhtälölle lasketaan myös korrelaatiokertoimen neliö eli selitysaste (R^2), joka kertoo, kuinka suuren osan y :n vaihtelusta x selittää. Kalibrointiyhtälön selitysaste vaihtelee välillä 0–1 ja arvon tulisi olla mahdollisimman lähellä yhtä.



Kuva 2. Laboratoriotulosten ja anturidatan välinen kalibrointisuora, suoran yhtälö ja mallin selitysaste (R^2). Tässä tapauksessa kalibrointiyhtälö on: $x = (y - 3,05)/2,09$, missä x = kalibroitu sameus ja y = anturin tuottama sameus (raakadata). Esimerkki on laskettu todellisen aineiston (Maasää-hanke) pohjalta. Yksiköt NTU ja FNU vastaavat toisiaan.

Jos selitysaste on riittävän korkea (tyypillisesti vähintään 0,8), voidaan kalibrointiyhtälöä käyttää anturihavaintojen säätämiseen oikealle tasolle.

5.3 Uudelleenkalibroinnin tarve

Mittauspaikalle asennetun anturin paikalliskalibrointi vastaa vain kyseisen paikan ja kalibrointinäytteiden noutojakson olosuhteita. Jos anturin paikkaa vaihdetaan tai joku vedenlaatuun vaikuttava seikka (esimerkiksi valuma-alueen maankäyttö) muuttuu oleellisesti kalibrointihavaintojakson jälkeen, tulisi kalibrointi tehdä uudelleen. Esimerkiksi laajassa mitassa

tehtyjen maanviljelyskäytäntöjen muutosten, ojitusten tai metsänhakkuiden aiheuttamat vedenlaadun muutokset vaikuttavat anturin tuloksiin. Lisäksi jos mittauspaikan anturia vaihdetaan, on paikalliskalibrointi luonnollisesti tehtävä uudestaan. Kalibrointijakson jälkeen kannattaa ottaa joitakin vertailunäytteitä kalibroinnin pysyvyyden seuraamiseksi. Vertailunäytteet tulee ottaa kalibrointinäytteiden tapaan mahdollisimman läheltä anturia, mutta virtavesissä vertailunäytteinä käytävät myös perusseurannasta saadut tulokset, jos seurantapiste sijaitsee lähellä anturia eikä pohjakulkeuma vaikuta anturin syvyydellä. Vertikaalista vaihtelua saattaa esiintyä erityisesti tulvatilanteissa tai joidenkin muuttujien suhteen esim. kesällä. Anturien toiminnassa saattaa pitkän mittausjakson aikana tapahtua muuttumista siten, että jossain vaiheessa kalibroidut anturitulokset eivät enää vastaa vertailuvesinäytteiden tuloksia. Tällöin kalibrointi tulee suorittaa uudelleen.

6. Sijaismuuttujien muuntoyhtälöiden ja virtaama-aikasarjan määrittäminen

6.1 Muuntoyhtälöt

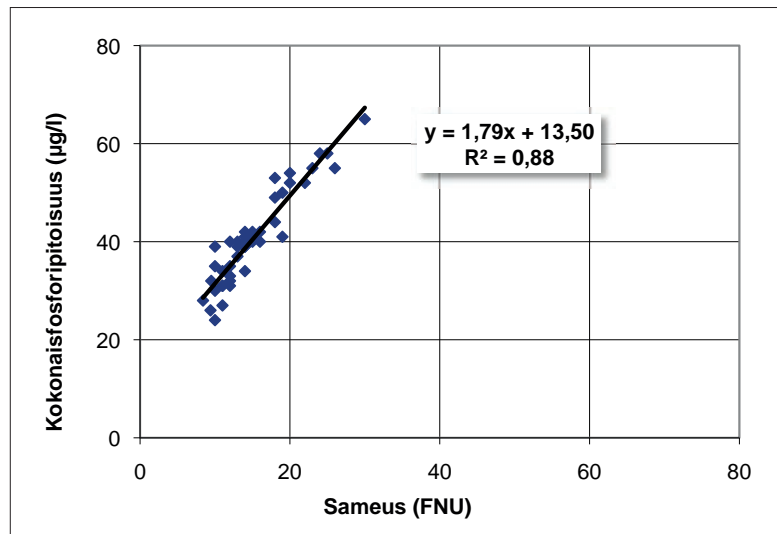
Koska anturin tuottamat sameusluke-
mat eivät ole pitoisuusarvoja, niiden
perusteella ei voida suoraan laskea
ainevirtaama- eli kuormituslukuja.
Sameus kuitenkin korreloi useissa ta-
pauksissa voimakkaasti kiintoaine- ja
kokonaisfosforipitoisuuksien kanssa,
jolloin sitä voidaan käyttää sijais-
muuttujana ko. pitoisuuksille. Samoin
s::can anturilla mitattavan nitraattity-
pen ja kokonaistypen välillä on ainakin
peltoviljelyalueilla yleensä voimakas
riippuvuus. Tämän vuoksi kalibrointi-
näytteistä kannattaa aina analysoida
sameuden lisäksi myös kiintoaine- ja
ravinnepitoisuudet. Mikäli sameuden
ja kokonaisfosforin välinen riippuvuus

on huono, voidaan sameutta kuitenkin
käyttää partikkelifosforin (= kokonais-
fosfori – liennut fosfori) pitoisuuden
laskentaan.

Vesinäytteistä laboratoriossa
analysoitujen sameuden ja kiintoaine-
pitoisuuden, sameuden ja kokonais-
fosforipitoisuuden sekä nitraatti- ja
kokonaistyyppipitoisuuksien väliset
korrelaatioyhtälöt (muuntoyhtälöt)
lasketaan regressioanalyysin avulla

samaan tapaan kuin edellä kuvattu
kalibrointiyhtälö sameusanturin raa-
katulosten ja vesinäytteistä mitat-
tujen sameustuloksien välille. Mitä
voimakkaampia korrelaatiot ovat, sitä
luotettavampia kiintoaine- ja ravinne-
pitoisuusajaksarjoja saadaan anturitu-
lostien kautta. Esimerkki sameuden ja
kokonaisfosforipitoisuuden välisestä
korrelaatiosta ja muuntoyhtälöstä on
esitetty kuvassa 3.

Kuva 3. Laboratoriotuloksista laskettu
sameuden ja kokonaisfosforipitoisuuden
välinen muuntoyhtälö sekä mallin selitysaste
(R^2). Muuntoyhtälössä x:n paikalle sijoitetaan
anturimittauksilla saatu kalibroitu sameus,
jolloin tulokseksi (y) saadaan jatkuva (esim.
tunnittainen) kokonaisfosforipitoisuuden
aikasarja. Esimerkki on laskettu todellisen
aineiston (Maasää-hanke) pohjalta.



Koska sekä kalibrointi että sijaismuuttujien käyttö edellyttävät niin automaattimittaus- kuin laboratorioaineistojenkin käyttöä, on niiden välille kehitetty rajapintapalvelua, joka mahdollistaisi kalibroinnin ja sijaismuuttujariippuvuuksien määrittelyn automatisoinnin (Rönkkö ym. 2015).

6.2 Virtaaman määrittäminen

Mahdollisimman tarkkojen kuormituslukujen saamiseksi myös virtaama tulisi mitata jatkuvatoimisesti vähintään samalla resoluutiolla kuin vedenlaatuakin. Yleisimmin virtaamaa mitataan joko pinnankorkeus/purkautumiskäyräperiaatteella tai vedenkorkeuden ja mittauspaikalle rakennetun säännöllisen muotoisen mittapadon (esim. v-aukkopato) avulla. Jos vesi pääsee purkautumaan padon alapuolelle vapaasti ja mittapadolle ominainen vedenkorkeuden ja virtaaman välinen suhde (purkautumiskäyrä) tunnetaan, voidaan limnigrafien tai paineanturin (esim. Keller, kuva 4) vedenkorkeustulosten perusteella muodostaa vedenlaatuajaksarjan rinnalle luotettava virtaama-ajaksarja. Myös akustiset, doppler-ilmiöön (kuva 5) perustuvat jatkuvatoimiset virtaamamittarit tekevät tuloaan markkinoille, joskin niistä on vähemmän kokemuksia kuin paineanturiin ja mittapatoon

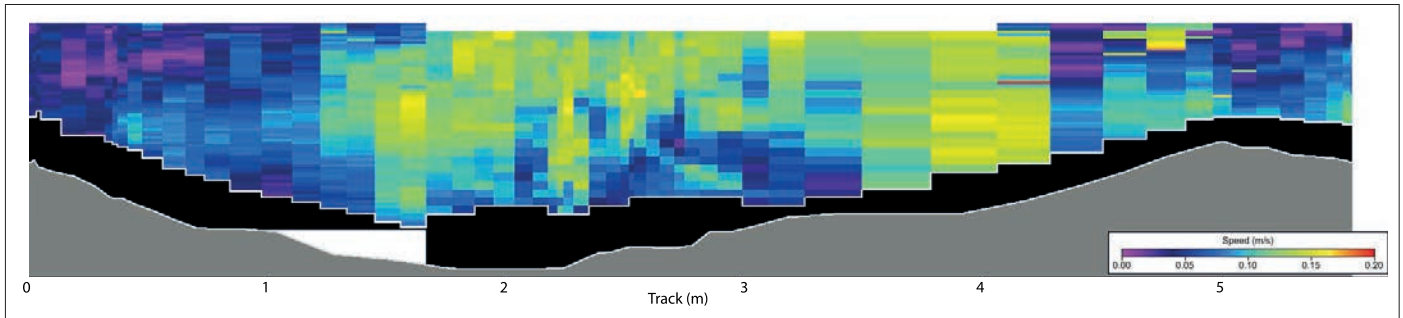
perustuvasta virtaaman seurannasta. Akustisten mittareiden etuna on se, että ne eivät tarvitse mittapatoa, vaan ne voidaan sijoittaa myös poikkeileikkaukseltaan epäsäännölliseen uomaan. Mittarit ovat joko kuvan 5 tyyppisiä liikuteltavia kenttämittareita tai pysyvästi esim. siltarakenteeseen asennettuja laitteita.

Kuva 4. Vedenkorkeuden mittaamisessa käytettävä Keller Series 11 -paineanturi.
Kuva Jarmo Linjama



Kuva 5. Akustinen Doppler virtausmittari.
Kuva Marjo Tarvainen





Kuva 6. Esimerkki Doppler mittarin tuloksesta Hirvijoelta. Kuvassa eri värit edustavat eri virtausnopeuksia. Laitteella saadaan selville myös pohjan profiili ja syvyydet. Kuva Ilkka Myllyoja

Haittapuolena on, ainakin joidenkin doppler-mittareiden kohdalla, mittauksen heikko toimivuus hitailla virtausnopeuksilla. Doppler-mittarilla saadaan virtausnopeuden lisäksi selville myös pohjan profiili, joka helpottaa esim. mittausta paikan valintaa (kuva 6).



Kuva Elisa Mikkilä

7. Kustannukset

Jatkuvatoimisesta vedenlaadun mittaamisesta syntyy laitteen hankinnan lisäksi myös muita kustannuksia. Luonnonvesien mittaamiseen tarkoitettujen sameuden optisten antureiden hinta vaihtelee noin 1000 – 10 000 euron välillä (Huttula ym. 2009). Yleisesti ottaen voidaan todeta, että halvin

vaihtoehto ei käytännössä useinkaan ole edullisin. Mittareiden kokonaishintaan vaikuttaa mm. niihin liitettävät muut anturit, puhdistusjärjestelmät, tiedonsiirtoyksiköt sekä maastoasennukseen tarvittavat tarvikkeet, joten mittausaseman perustamisen kustannukset määräytyvät aina paikkakohtai-

sesti. Lisäksi varsinaisesta mittaustoiminnasta syntyy paljon kustannuksia mm. huollosta, vertailunäytteiden otosta ja laboratorioanalysoinnista, tiedonsiirrosta sekä aineistojen käsittelystä ja raportoinnista.

Kuva Asko Sydänoja.



Liite 1.

Jatkuvatoimisen vedenlaatumittarin tarjouspyynnössä huomioitavia asioita

Jatkuvatoimisten vedenlaatumittareiden hankinta toteutetaan useimmiten kilpailuttamalla. Tarjouspyynnön laatiminen edellyttää jo runsaasti tietoa jatkuvatoimisesta mittaamisesta ja mittareista. Selkeästi ja huolellisesti laaditun tarjouspyynnön avulla tarjoajat voivat tehdä täsmällisempiä tarjouksia, mikä helpottaa tarjousten vertailua. Kilpailuttamisen helpottamiseksi tähän on listattu asioita, jotka olisi hyvä huomioida tarjouspyyntöä laadittaessa:

- Pyydetäänkö tarjousta vuokramittarista vai onko kyseessä laitteen hankinta. Tarjouksen voi pyytää myös molemmista vaihtoehdoista. Tarjousten vertailua helpottaa, jos vuokrahinta pyydetään ilmoittamaan esimerkiksi x euroa / kk. Myös päiväkohtainen lisähinta/anturi tai /muuttuja kannattaa olla, jos mittauksia halutaan jatkaa vielä sopimuksessa mainitun ajan jälkeen.
- Tarjouspyynnöstä on käytävä ilmi myös vuokra-ajan pituus, mikäli kyseessä on mittarin vuokraus.
- Halutaanko mittarin lisäksi tilata myös muita palveluja, joita voivat olla:
 - laitteen asentaminen mittauskohteeseen
 - huollon toimenpiteet
 - reaaliaikainen tiedonsiirto ja
 - aineistojen laadunvarmistus.
- Tarjouksissa lisäpalveluiden hinta kannattaa pyytää eriteltynä.
- Tarjouksista tulee käydä ilmi myös laitteen toimittajan tukipalvelut käytön aikana sekä niiden hinnoittelu.
- Minkälaiseen ympäristöön mittari tullaan sijoittamaan (jätevedet, luonnonvedet, joki, järvi tms.) ja koska mittaukset halutaan aloittaa. Tarjouksiin kannattaakin pyytää kirjaamaan laitteen toimitusaikataulu.
- Automaattipuhdistus, sisältyykö toimitukseen ja minkä tyyppinen?
- Mitä halutaan mitata (lämpötila, sähköjohtokyky, sameus, nitraattityppi, happi, orgaanisia aineita, sinileviä, a-klorofylli jne.)
- Mittauksen tarkkuus, mittausalue sekä mittauksen määritysraja.
- On hyvä mainita myös pitoisuusalue, jolla antureiden tulee mitata luotettavasti.
- Tarjouspyynnöstä on käytävä ilmi tarjousten vertailuperiaatteet eli miten painotetaan esimerkiksi hintaa ja laatua prosentteina. Kannattaa miettiä etukäteen laadun kriteerit ja niiden pisteytys.
- Sekä tarjouspyynnössä että tarjouksissa on hyvä olla nimettynä myös yhteyshenkilö, jolta voi kysellä lisätietoja.
- Tarjoajan referenssit on myös hyvä pyytää. Erityisesti kannattaa kysellä mittauskohteen kaltaisissa mittauspaikoissa tehtyjä onnistuneita mittauksia.
- Takuuu aika ja ehdot
- Laitetoimittajan toiminta mahdollisissa vikatilanteissa esim. laitteen rikkoutuessa. Laitetoimittajan tulee vikatilanteessa taata mittauksen jatkuminen tietyn ajan sisällä, jotta aineistoa menetetään mahdollisimman vähän. (Tähän voi määrittää tarkemman ajan)



Kuva Sirkka Tattari

Liite 2.

Kentällä tehtävä huolto

1. Nosta laite vedestä ja puhdista huolellisesti optinen linssi ja laite ja mahdolliset muut mittarit (yritä välttää huoltoa mittaussajankohtana).
2. Puhdista mekaaniset puhdistuslaitteet.
3. Tarkasta kompressorin (jos käytössä) toiminta ja poista ylimääräinen vesi. Vaihtoehtoisesti tarkista paineilmapullo ja vaihda tarvittaessa uuteen.
4. Jos virtalähteenä paristot, tarkista niiden kunto ja vaihda tarvittaessa uusiin (kunnon tarkastus edellyttää mittarin liittämistä tietokoneeseen).
5. Mittaa vedenkorkeus.
6. Huolehdi että kaapelit eivät jäädy maahan talviaikana.
7. Merkitse muistiin tehdyt toimet ja muut huomiot.
8. Toimistolla: Tarkasta vaikuttiko puhdistus mittaustasoon.
9. Toimistolla: Tee tarvittavat korjaukset ellei ole tilattu laadunvarmistuspalvelua.

Aiheeseen liittyvää kirjallisuutta:

Arola, H. (toim.) 2012. Jatkuva-toiminen sameusmittaus – Hyvät mittauskäytännöt ja aineistonkäsittely. Ympäristöhallinnon ohjeita 2, 51 s. <http://hdl.handle.net/10138/41515>.

Aquarius lehti 1/2012. Kenttämittaukset. Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry:n tiedotuslehti. http://vesiensuojelu.fi/wp-content/uploads/2012/10/Aquarius_1_2012.pdf

Downing J. 2006. Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad and the ugly. *Continental Shelf Research* 26: 2299–2318.

Ekholm, P., Valkama, P., Jaakkola, E., Kiirikki M., Lahti K. & Pietola, L. 2012. Gypsum amendment of soils reduces phosphorus losses in an agricultural catchment. *Agricultural and food science* 21: 279–291.

Huitu, H. (toim.) 2009. Automatisoidun mittausverkon kehittäminen ympäristön seurantaan. MTT Kasvu 8, 56 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-260-7>

Huotari, J. & Ketola, M. (toim.) 2014. Jatkuva-toiminen levämäärien mittaus. Hyvät mittauskäytännöt ja aineistojen käsittely. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöhallinnon ohjeita 5, 66 s.

Huttula, T., Bilaletdin, E., Härmä, P., Kallio, K., Linjama, J., Lehtinen, K., Luotonen, H., Malve, O., Vehviläinen, B. & Villa, L. 2009. Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen – Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2009, 73 s.

Jaakkola, S. Veden laadun mittaminen jatkuvatoimisilla mittausantureilla. Helsingin yliopisto. Pro Gradu, 02/2013, 102 s. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38581/Pro%20gradu%20Sauli%20Jaakkola.pdf?sequence=1>

Koskiaho, J., Tattari, S. & Röman, E. 2015a. Suspended solids and total phosphorus loads and their spatial differences in a lake-rich river basin as determined by automatic monitoring network. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(4): 1–12.

Koskiaho, J., Siimekselä, T. & Puustinen, M. 2015b. Maatalouden vesiensuojelukosteikkojen tehokkuusseuranta automaattilaitteistojen avulla. *Vesitalous* 4: 35–40.

Kukkonen, M., Tattari, S. & Jaakkola, S. 2013. Valuma-alueiden vedenlaadun seuranta jatkuvatoimisella mittauksella. *Vesitalous* 5/2013: 31–34.

Näykki, T., Kyröläinen, H., Witick, A., Mäkinen, I., Pehkonen, R., Väisänen, T., Sainio, P. & Luotola, M. 2013. Laatusuosituksen ympäristöhallinnon vedenlaaturekistereihin vietävälle tiedolle: vesistä tehtävien analyyttien määritysrajat, mittausepävarmuudet sekä säilytysajat ja -tavat. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2013.

Rönkkö, M., Silander, J., Näykki, T., Ojanen-Saloranta, M., Koskiaho, J., Huitu, H., Juuso, E., Malve, O., Kotamäki, N., Korhonen, S., Virtanen, A., Ojanperä, O., Hytönen, H., Kauhanen, O., Sirviö, H., Koponen, P. & Linjama, J. 2015. Processing of sensor-recorded water turbidity by MMEA Platform. 3rd Science for the Environment Conference, Aarhus Denmark 1–2 October 2015. http://dce-conference.au.dk/fileadmin/dce-conference.au.dk/Abstracts15/94_Koskiaho.pdf. (poster abstract).

SFS-EN ISO 5667-3. Veden laatu. Näytteenotto. Osa 3: Vesinäytteiden kestäväntoiminta ja käsittely. 2013. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Tarvainen, M., Kotilainen, H. & Suomela, J. 2015. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa – mahdollisuudet ja haasteet. Raportteja 86. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 65 s.

Vartiainen, E., Yli-Renko, M., Laamanen, L., Elo, R. & Koskinen, J. 2014. Jatkuvatoiniset vedenlaatuindikaattorit vesistökuormituksen arvioinnissa. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen raportteja 31, 47 s.

Valkama, P., Lahti K. & A. Särkelä 2008. Fosfori- ja typpikuormituksen muodostuminen Lepsämänjoessa kevät- ja syystulvatilanteissa. Vesitalous 5: 26-30.

Valkama, P. & Salminen O. 2014. Kosteikko puhdistaa hulevesiä Enäjärvellä. Aquarius 1: 12–13.

OPAS 5 | 2015

VIRTAVESIEN VEDENLAADUN JATKUVATOIMINEN MITTAAMINEN

Käytännön opas

Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314-364-7 (painettu)

ISBN 978-952-314-365-4 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2846 (painettu)

ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-365-4

www.doria.fi/ely-keskus | www.ely-keskus.fi



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment